

(6) Japanese Patent Application Laid-Open No. 10-62355 (1998):

“INSPECTION METHOD AND INSPECTION DEVICE OF SEMICONDUCTOR WAFER”

The following is an English translation of the abstract.

[Abstract]

[Problem to be solved] To provide an inspection method and inspection device capable of performing a failure inspection easily, accurately, and even by discriminating between a surface layer, an inside layer and a back layer.

[Solution] A beam from a wave length variable lens is split into a surface irradiation beam and a back surface irradiation beam, and the surface irradiation beam whose wave length has been altered and the back surface irradiation beam whose wave length has been altered are irradiated upon a surface and a back surface of the semiconductor wafer, respectively. A reflected light on and near the surface of the semiconductor wafer by the surface irradiation beam is mainly detected, while a transmission light of the semiconductor wafer by the back surface irradiation beams is mainly detected, whereby a failure of the semiconductor wafer is detected.

特開平10-62355

(43)公開日 平成10年(1998)3月6日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G01N 21/88

G01N 21/88

E

H01L 21/66

H01L 21/66

N

J

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全6頁)

(21)出願番号

特願平8-214845

(22)出願日

平成8年(1996)8月14日

(71)出願人 594119184

株式会社ニュークリエーション

東京都狛江市中和泉5丁目33番地37号

(72)発明者 芳賀 一実

東京都狛江市中和泉5-33-37

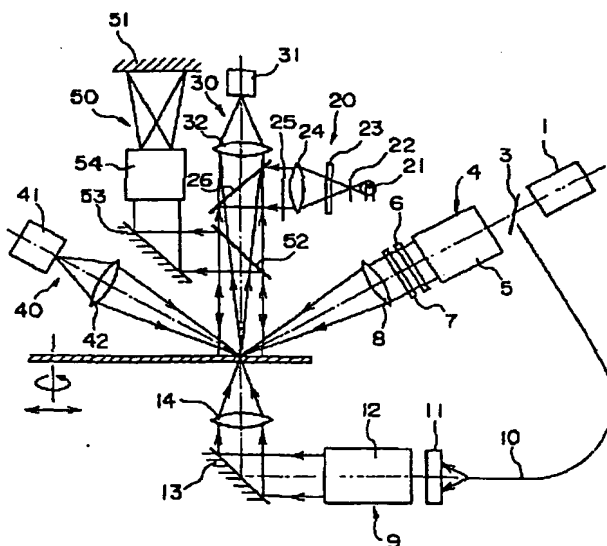
(74)代理人 弁理士 荒船 良男

(54)【発明の名称】半導体ウェーハの検査方法および検査装置

(57)【要約】

【課題】 簡単に、かつ精度良く、しかも表面層・内部層・裏面層を区別して欠陥検査ができる、検査方法および検査装置を提供する。

【解決手段】 波長可変レーザーからの光束を表面照射光束と裏面照射光束とに2分けし、波長を変化させた前記表面照射光束を半導体ウェーハの表面に、波長を変化させた前記裏面照射光束を前記半導体ウェーハの裏面に当てると共に、該表面照射光束による前記半導体ウェーハの表面および表面近くでの反射光を主に検出する一方で、該裏面照射光束による前記半導体ウェーハの透過光を主に検出することにより、前記半導体ウェーハの欠陥を検出するようにした。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 波長可変レーザーからの光束を表面照射光束と裏面照射光束とに 2 分けし、波長を変化させた前記表面照射光束を半導体ウェーハの表面に、波長を変化させた前記裏面照射光束を前記半導体ウェーハの裏面に当てると共に、該表面照射光束による前記半導体ウェーハの表面および表面近くでの反射光を主に検出する一方で、該裏面照射光束による前記半導体ウェーハの透過光を主に検出することにより、前記半導体ウェーハの欠陥を検出するようにしたことを特徴とする半導体ウェーハの検査方法。

【請求項 2】 波長可変レーザーと、この波長可変レーザーからの光束を半導体ウェーハの表面に照射する表面照射光学系と、前記波長可変レーザーからの光束を前記半導体ウェーハの裏面に照射する裏面照射光学系と、前記表面照射光束による前記半導体ウェーハの表面および表面近くでの反射光を主に検出する第 1 の光検出手段と、前記裏面照射光束による前記半導体ウェーハの透過光を主に検出する第 2 の光検出手段とを備えること特徴とする半導体ウェーハの検査装置。

【請求項 3】 前記表面照射光学系と前記裏面照射光学系には、それぞれ、光束成形レンズ系および集光投影レンズが設けられており、前記表面照射光学系および前記裏面照射光学系に設けられた前記光束成形レンズ系により前記半導体ウェーハの表裏の集束ポイントでビーム形状を真円状としたことを特徴とする請求項 2 記載の半導体ウェーハの検査装置。

【請求項 4】 物側テレセントリックレンズと、この物側テレセントリックレンズと撮像面との間に設置された、可変空間フィルターである可変円型ナイフエッジとを備え、メタルハライドランプからの光束をコリメートレンズで平行光束として前記半導体ウェーハの表面に照射し、この半導体ウェーハからの反射光束の微小な角度成分を前記可変円型ナイフエッジで遮断するように構成されたことを特徴とする請求項 2 または 3 記載の半導体ウェーハの検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、半導体ウェーハの検査方法および検査装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年半導体業界の進歩は目覚ましく、特に LSI の回路パターンの微細化が進んでいる。また、現在 8 インチシリコンウェーハ上に多量の LSI を形成していく DRAM を中心に、製造プロセス装置の開発が、米国・日本を始め主要技術国で日々進められている。この様な状況の中で各製造プロセスでの品質検査の比重が大きくなってきている。本発明は、この中で上流プロセス（例えば、エピタキシャル成長をさせるプロセス、拡散炉の熱処理プロセス）で発生する結晶欠陥の自

動検査装置に関連するものである。

【0003】 LSI 製造工程においては、エピタキシャルプロセス・熱拡散プロセスという熱処理プロセスのどちらかを必ず通過する。ここで重要なことは、シリコンウェーハサイズが大きくなればなる程、熱の均一性を保つことが技術的にも難しいことである。このプロセスで発生する不良品質で特に重要視されるのがスリップと呼ばれる結晶欠陥である。この欠陥は、シリコンウェーハ表面と厚み方向の熱の不均一性およびシリコンウェーハ形状にも要因があると言われている。現象としては、シリコンウェーハに熱がかかり、それが冷却されていく過程で、周辺に温度勾配が現れ、その結果内部に応力が残存してしまう。これにより応力に耐えきれなくなった結晶は不均一な部分がまるで地震で見られる断層のように結晶方位に沿って、直線状に亀裂を発生する。これはシリコンウェーハの周辺から内部に向かって現れる現象である。その亀裂の幅や深さといった検査規格は現在のところないのが実状である。あるのは、発生したスリップのトータル長だけで、それも目安が 300 mm ということ位である。従来この品質検査は、シリコンウェーハメーカーでは目視検査が主流であり、デバイスメーカーにおいては、微分干渉顕微鏡または X 線トポグラフィーを用いて抜き取り検査を行っていた。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、目視検査では、8~12 インチという大口径化により目視視野の拡大が注意力の散漫を招き、人による検査内容にバラツキが発生し、熟練した人間でないと信頼性に欠けることになる。非常に熟練した人間であれば、スリップの幅 5 μ m、長さ 1 mm 程度を判別できるが、1 時間連続して検査はできない。また、微分干渉顕微鏡を用いて 8 インチシリコンウェーハの周辺（5~10 mm）を全周観察検査する場合、長時間かかってしまう。性能の面からみても微分干渉顕微鏡を用いて、高倍率で幅 1 μ m 程度のスリップが検査できるがトータル長を求めるのは非常に困難である。同様に X 線トポグラフィーも、1 回の測定に 3 時間程度かかる。これは軟 X 線をシリコンウェーハ下部より照射して透過光を写真の乾板に焼き付けるという作業が必要となるからである。また X 線を使用することにより、非常に限られた人しか使用できなくなる。さらにこの装置は非常に高価で、装置専有面積も 6 畳程度と大型のものであり実用性に欠ける。さらに、X 線トポグラフィーの場合、透過で検査するため、表面層・内部層・裏面層とすべてが写真に写ってしまうため、表面層のみの抽出は不可能である。

【0005】 本発明は、かかる問題点に鑑みなされたものであり、簡単に、かつ精度良く、しかも表面層・内部層・裏面層を区別して欠陥検査ができる、検査方法および検査装置を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】初めにシリコンウェーハの分光特性について説明すれば、その分光特性は、入射光の波長を変化させると特徴的な挙動を示す。つまり可視光範囲ではシリコンウェーハの表面層からのみの反射になり、その範囲を越えると1000nm程度を越えると透過光が現れる。かかる知見に基づいて本願発明はなされたものである。

【0007】まず、請求項1記載の検査方法は、波長可変レーザーからの光束を表面照射光束と裏面照射光束とに2分けし、波長を変化させた前記表面照射光束を半導体ウェーハの表面に、波長を変化させた前記裏面照射光束を前記半導体ウェーハの裏面に当てると共に、該表面照射光束による前記半導体ウェーハの表面および表面近くでの反射光を主に検出する一方で、該裏面照射光束による前記半導体ウェーハの透過光を主に検出することにより、前記半導体ウェーハの欠陥を検出するようにしたことを特徴とする。ここで、シリコンウェーハの欠陥検査のために用いられる波長可変レーザーとしては波長700nm～1100nmまで連続に変更できるレーザーを用いることが好ましい。この検査方法によれば、波長を変化させた表面照射光束による前記半導体ウェーハの表面および表面近くでの反射光の検出結果と、波長を変化させた裏面照射光束による前記半導体ウェーハの透過光の検出結果とから、半導体ウェーハの表面欠陥、内部欠陥の位置や大きさなどを簡単に検出できることになる。

【0008】請求項2記載の検査装置は、波長可変レーザーと、この波長可変レーザーからの光束を半導体ウェーハの表面に照射する表面照射光学系と、前記波長可変レーザーからの光束を前記半導体ウェーハの裏面に照射する裏面照射光学系と、前記表面照射光束による前記半導体ウェーハの表面および表面近くでの反射光を主に検出する第1の光検出手段と、前記裏面照射光束による前記半導体ウェーハの透過光を主に検出する第2の光検出手段とを備えること特徴とする。この検査装置によれば、波長を変化させた表面照射光束による前記半導体ウェーハの表面および表面近くでの反射光の検出結果と、波長を変化させた裏面照射光束による前記半導体ウェーハの透過光の検出結果とから、半導体ウェーハの表面欠陥、内部欠陥の平面的位置、深さ、大きさなどを簡単に検出できることになる。

【0009】請求項3記載の検査装置は、請求項2記載の検査装置において、前記表面照射光学系と前記裏面照射光学系には、それぞれ、光束成形レンズ系および集光投影レンズが設けられており、前記表面照射光学系および前記裏面照射光学系に設けられた前記光束成形レンズ系により前記半導体ウェーハの表裏の集束ポイントでビーム形状を真円状としたことを特徴とする。この検査装置によれば、ビームプロファイルが全方向で完全なガウス分布を示すので、検出感度の向上が図れることにな

る。

【0010】請求項4記載の検査装置は、請求項2または3記載の検査装置において、物側テレセントリックレンズと、この物側テレセントリックレンズと撮像面との間に設置された、可変空間フィルターである可変円型ナイフエッジとを備え、メタルハライドランプからの光束をコリメートレンズで平行光束として前記半導体ウェーハの表面に照射し、この半導体ウェーハからの反射光束の微小な角度成分を前記可変円型ナイフエッジで遮断するように構成されたことを特徴とする。この検査装置によれば、半導体ウェーハの表面に欠陥が存在すると欠陥からの反射成分のうち角度成分が遮断されるため、欠陥と背景とのコントラストの向上が図れることになる。

【0011】

【発明の実施の形態】図1には本願発明に係る検査装置が示されている。この検査装置においては、波長可変レーザー1からの光束が表面照射光束と裏面照射光束とに2分けされ、表面照射光束が半導体ウェーハWの表面に、裏面照射光束が半導体ウェーハWの裏面に当てられるようになっている。さらに、この検査装置においては、半導体ウェーハWの表面にはメタルハライドランプ21からの光束が当てられるようになっている。まず、これらの照射系について説明する。

【0012】（照射系）この場合の半導体レーザー1としては、特に制限はされないが、700nm～1100nmの範囲で波長を変更できる半導体レーザーが用いられる。この範囲で波長を変更できればシリコンウェーハの欠陥検査としては十分である。

【0013】また、光束2を表面照射光束と裏面照射光束とに2分けするのにハーフミラー3が用いられている。

【0014】さらに、表面照射光束を半導体ウェーハWの表面に当てるための表面照射光学系4は光束成形レンズ系5、偏光板6、 $\lambda/2$ 波長板7および集光投影レンズ8から構成されている。

【0015】この表面照射光学系4で重要なのは、集束ポイントで、形状として真円形状を作り出し、ビームプロファイルとしても完全なガウス分布をつくることである。しかも、それを波長700nm～1100nm全領域で達成しなければならない。そのため、特に、楕円成形レンズにおいては、非球面レンズ、シリドリカルレンズ、空間フィルター等を組合わすようにすることが好ましい。このようにすれば、照射直前ではビーム形状が楕円であるが、集束ポイントでは完全な真円形状とすることができ、ビームプロファイルも全方向で完全なガウス分布を示すことになる。偏光板6は光束成形レンズ5を通過した表面照射光束をその進行方向に直交する面内で互いに直角方向に振動する2つの直線偏光成分に分解する働きをする。また、 $\lambda/2$ 波長板7は互いに直角方向に振動する2つの直線偏光に $\lambda/2$ の位相差を与える働

きをする。集光投影レンズ8は、 $\lambda/2$ 波長板7から出た光束を集束させて半導体ウェーハWの表面に投影するためのものである。

【0016】一方、裏面照射光束を半導体ウェーハWの表面に当てるための裏面照射光学系9はファイバー10、照度分布補正光学系11、光学成形レンズ系12、全反射ミラー13および集光投影レンズ14から構成されている。ここで照度分布補正光学系11は、ファイバー10から出た光束の照度分布を一様にする働きをする。光束成形レンズ系12は、集束ポイントで、形状として真円形状を作り出し、ビームプロファイルとしても完全なガウス分布を作るためのものである。全反射ミラー13は光束の進行方向を変えるためのものである。また、集光投影レンズ14は、全反射ミラー13で反射させた光束を集束させて半導体ウェーハWの裏面に投影するためのものである。

【0017】(検出光学系) 次に、この検査装置における検出光学系について説明する。この検出光学系は、光電子増倍管31で半導体ウェーハWからの光を検出する第1の検出光学系30と、フォトダイオード41で半導体ウェーハWからの光を検出する第2の検出光学系40とから構成されている。

【0018】第1の検出光学系30の光電子増倍管31は前記半導体ウェーハWの上で、かつ前記集光投影レンズ14の光軸の延長線上に存在し、半導体ウェーハWからの光を集光レンズ32を介して検出するようになっている。この第1の検出光学系30は反射・透過散乱強度を光電子増倍31(あるいはイメージンテンシファイア)を用いて微弱強度変化を電気量に変換して検出する。この強度変化を最大エントロピー法により検出するか、高速フーリエ変換法によって検出する。

【0019】第2の検出光学系40のフォトダイオード41は集光投影レンズ8からの光の正反射成分から少し離れた位置に存在し、半導体ウェーハWからの光を集光レンズ42を介して検出するようになっている。

【0020】(画像光学系) この画像光学系は照明系20と画像検出系50とから構成されている。照明系20はメタルハライドランプ21からの光束を半導体ウェーハWに当てるためのもので、ピンホール22、波長選択フィルタ23、コリメートレンズ24、シャッター25、ハーフミラー26から構成されている。

【0021】このうちピンホール22は点光源を作るためのものであり、波長選択フィルタ23は、メタルハライドランプ21が放つ光束3の波長を選択するためのものであり、コリメートレンズ24は光束3を平行にするためのものであり、シャッター25はメタルハライドランプ21からの光を遮断するためのものであり、ハーフミラー26は光束3を半導体ウェーハW側へ向けるためのものである。

【0022】画像検出系50は半導体ウェーハWから光

電子増倍管31へ向かう光を分岐するためのハーフミラー52を含んで構成され、このハーフミラー52で分岐された光を全反射ミラー53で反射した後に空間フィルタ内蔵のテレセントリック光学系54を介してCCD51で検出するものである。

【0023】この画像光学系は表面層にスリップが現れているか否かの判断用のものである。特長としては超高解像テレセントリックレンズと撮像面(CCD51)との間に可変空間フィルタを設置することができ、表面の微小角度成分に応じた濃淡画像とし表面の状態を結像させることができることである。すなわち、テレセントリック光学系54は、完全物側テレセントリックレンズと可変空間フィルタである可変円型ナイフエッジとを備えている。そして、照射光束として完全平行光束を用いて、反射光束の微小な角度成分を可変円型ナイフエッジで遮断するようになっている。このテレセントリック光学系54によれば、シリコンウェーハの表面にスリップが存在するとスリップからの反射成分のうち角度成分を遮断するため、スリップと背景とのコントラストがとれるという効果を有する。また、CCD51で取り込んだ画像の濃淡を多段階に変換し、微積分を繰り返すことでスリップの段差量を100オングストローム程度の分解能でリアルタイムに解析・検出することができる。

【0024】さらに画像光学系に用いる光源にはメタルハライドランプ21を使用しているが、これは波長436nmに輝線スペクトルがあるので、その波長を用いてコリメートレンズ24により平行光束として半導体ウェーハW表面に照射する。この波長を用いることで確実に表面層での検出が行える。

【0025】なお、この画像光学系を使用している時は、波長可変レーザー1の光束は図示しないシャッターにより遮断されている。

【0026】(検査ステージ系) シリコンウェーハを保持するステージは、パーティクル等の外的要因に強い構造が必要である。特に裏面にレーザービームを照射することから、波長400~1300nm程度の範囲で透過率が高くなければならず、石英系の硝材をステージ材とする。また、パーティクル等の影響を受けにくくするためにシリコンウェーハとステージの接触面積を2%程度にすることが必要である。回転精度(面振れ等)も0.2μm以下とすることが必要となるため、エアベアリング、ロータリーレーザーエンコーダーといった回転手段を用いることが望ましい。

【0027】(検査方法) 次に、この光学検査装置を使用する検査方法を説明する。

【0028】この光学検査装置で例えばシリコンウェーハを検査するにあたっては、まず、シリコンウェーハの分光特性により、波長レーザーの光源波長を3種類のグループに分類する。すなわち、波長範囲700~800nm(波長第1グループ)、800~1000nm(波

長第2グループ)、1000~1100nm(波長第3グループ)に分類する。そして、波長第1グループを表面層に、波長第2グループを内部層に、波長第3グループを表面層・内部層・裏面層のスリップの検出に用いる。また、検査に際しては、シリコンウェーハが収納されているカセットからロボットによりアライメントされた状態でシリコンウェーハを取り出し、該シリコンウェーハを石英系透明ステージ上に自動セットする。そして、結晶方位基準(ノッチ)を回転原点としてシリコンウェーハを回転させ、最外周より集束ビームポイント径毎に内側に移動して検出していく。3波長グループの代表値はシリコンウェーハの結晶方位の違いによって決定される。(最適波長は、700~1100nmまで1nmステップで可変されて見出される。)

【0029】次に、具体的検査方法について説明すれば、波長第1グループでは、シリコンウェーハの裏面からの照射光束の透過はないので無視できる。したがって、光電子増倍管31およびフォトダイオード41の検出光の強度変化は、全て表面層からの光の強度変化(表面層といっても実際は表面から数μmは内部層にもぐり込んでいる。)である。光電子増倍管31またはフォトダイオード41で検出される光の強度が変化した場合、その時点で、シャッター23が開かれ、CCD51でその変化近傍の映像が取り込まれ、リアルタイムにて画像解析が行われる。そして、その結果が検出位置情報とともにメモリー内に格納される。この場合、フォトダイオード41で強度変化が検出されたときには、画像解析の結果、表面層にスリップが発生していることが確認される。一方、光電子増倍管31でのみ強度変化が検出されたとき(スリップ欠陥が微小のときなど)は、必ずしも画像解析において、スリップの存在は確認されない場合がある。しかし、波長第2グループにおいてもフォトダイオード41によって当該部分で変化が検出された場合には、内部層でも表面層との境界にスリップが存在していると判断する。(シリコンウェーハを詳細分析すれば波長と光のもぐり込み量の大きな相関がとれるので、発生深さの大きな数値化も行える。)

【0030】波長第2グループでは、小さなスリップの場合には光電子増倍管31での変化はほとんどないと考えられる(ただし波長1000nm付近ではまた変化を検出できる)。さらにこのグループでフォトダイオード41により初めて変化が検出された場合は、内部層に確実にスリップが存在する。波長第3グループでは、小さなスリップの場合にはフォトダイオード41には変化が現れず、光電子増倍管31にのみ変化が現れる。ここで

初めて変化が現れた場合は、裏面層のみにスリップが発生していることになるが、この確率は少ない。ほとんどが内部層のスリップになると考えられる。つまりスリップ発生には内部応力と深い関わりがあるといわれているので内部に発生しているスリップ周辺には、応力が残っていることが予想される。その応力によるスリップ周辺の複屈折に起因して透過散乱強度変化が強調されるために波長第2グループでの変化量検出より大きくなることが予想される。ただし波長第2グループでの検出位置と同一であれば、第2グループ時の結果判断とする。この波長第3グループでの重要なことは、波長第2グループでは当然光吸収もあるので微小なスリップの検出もれも考えられるが、確実に内部層のスリップを第3グループで検出することができる。また、付加的効果として、応力の分布も判る。さらに画像も反射・透過散乱強度変化時に取り込んで解析するので重要な表面層にスリップが現れているか否かだけでなく長さの数値も測定できる。

【0031】以上、本発明者によってなされた発明の実施例について説明したが、本発明は、かかる実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々の変形が可能である。

【0032】例えば、前記実施形態では、シリコンウェーハの検査を主に説明したが、化合物半導体ウェーハの検査の場合は勿論のこと、液晶ガラス基板やDVD(デジタル・ビデオ・ディスク)基板などの薄板一般の検査に適用できる。

【0033】また、前記実施形態では、スリップ検査の場合を主に説明したが、薄板の内部応力分布などを検査する場合にも適用できる。

【0034】

【発明の効果】本発明の代表的なものの効果を説明すれば、波長を変化させた表面照射光束による前記半導体ウェーハの表面および表面近くでの反射光の検出結果と、波長を変化させた裏面照射光束による前記半導体ウェーハの透過光の検出結果とから、半導体ウェーハの表面欠陥、内部欠陥の位置や大きさなどを簡単に検出できることになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る検査装置の構成図である。

【符号の説明】

- 1 波長可変レーザー
- 4 表面照射系
- 9 裏面照射系
- 30 第1検出系
- 40 第2検出系

【図 1】

